

Simulasi dan Rancang Bangun Power Supply Variabel Berbasis MATLAB

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Purwandito Tulus Asmoro, ³Feri Siswoyo Hadisantoso, ⁴Muhamad ishah, ⁵Rizky Idul Adha, ⁶Iman Saputra

^{1,2,3,4,5,6}Teknologi Listrik, Politeknik Enjineri Indorama, Purwakarta, Indonesia

Corresponding author: aziz@pei.ac.id.

Abstrak

Penelitian ini membahas simulasi dan rancang rangkaian power supply variabel berbasis TIP41C (NPN) dengan pendekatan analisis teoritis, simulasi menggunakan MATLAB dan desain menggunakan Proteus, serta pengujian hasil aktual. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil tegangan keluaran dari ketiga metode tersebut guna menilai tingkat akurasi dan kinerja rangkaian yang dirancang. Proses perancangan meliputi penentuan komponen utama seperti transformator, penyearah, kapasitor filter, serta resistor dan potensiometer sebagai pengatur tegangan keluaran. tahap awal dilakukan menggunakan proteus untuk desain dan memverifikasi fungsi rangkaian secara keseluruhan, sedangkan simulasi MATLAB digunakan untuk melakukan analisis numerik dan validasi model matematis terhadap karakteristik keluaran power supply. Berdasarkan hasil perbandingan antara tegangan output teoritis, hasil simulasi MATLAB, dan hasil pengukuran aktual, diperoleh bahwa simulasi MATLAB memiliki tingkat akurasi tinggi dengan error relatif kecil, berkisar antara 0,40% hingga 0,90% dengan rata-rata 0,67%. Sementara hasil pengukuran nyata menunjukkan error sedikit lebih besar, yaitu antara 0,00% hingga 3,83% dengan rata-rata 1,25%. Selisih tersebut disebabkan oleh toleransi komponen, rugi daya internal regulator LM317, penurunan tegangan pada sambungan kabel dan jalur PCB, serta pengaruh suhu dan ketelitian alat ukur. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian power supply variabel berbasis TIP41C (NPN) yang dirancang memiliki kinerja yang baik, stabil, dan mampu menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diatur sesuai kebutuhan

Kata kunci: Power Supply Variabel, TIP41C (NPN), Simulasi MATLAB, Analisis Tegangan, Error.

Abstract

This study discusses the simulation and design of a variable power supply circuit based on the TIP41C (NPN) transistor using a theoretical analysis approach, simulations with MATLAB and Proteus for design, and experimental testing of the actual results. The main objective of this research is to compare the output voltage results obtained from the three methods in order to evaluate the accuracy and performance of the designed circuit. The design process includes determining the main components such as the transformer, rectifier, filter capacitor, LM317 regulator, as well as resistors and potentiometers used to control the output voltage. The initial simulation was carried out using Proteus to verify the overall circuit functionality, while MATLAB simulation was used for numerical analysis and validation of the mathematical model of the power supply output characteristics. Based on the comparison between the theoretical output voltage, MATLAB simulation results, and actual measurements, it was found that the MATLAB simulation demonstrated high accuracy with a relatively small error, ranging from 0.40% to 0.90%, with an average of 0.67%. Meanwhile, the actual measurements showed slightly larger errors, ranging from 0.00% to 3.83%, with an average of 1.25%. These discrepancies are mainly caused by component tolerances, internal power losses in the TIP41C (NPN) regulator, voltage drops in cable and PCB connections, as well as temperature variations and measurement accuracy during testing. Overall, the results indicate that the variable power

supply circuit based on the TIP41C transistor performs well, remains stable, and is capable of producing an output voltage in accordance with the intended design.

Keywords: Variable Power Supply, TIP41C (NPN), MATLAB Simulation, Proteus, Voltage Analysis, Error.

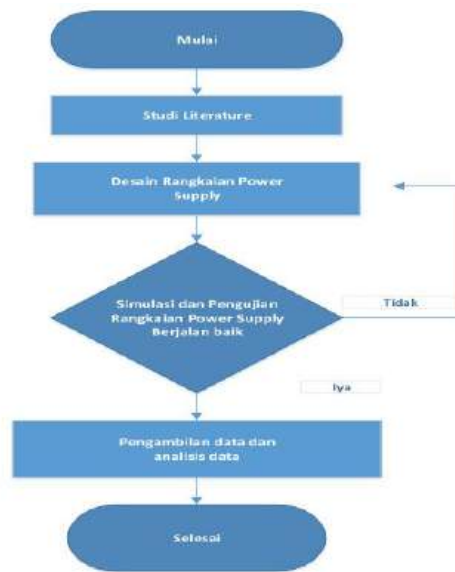
1. PENDAHULUAN

Perangkat elektronika membutuhkan sumber daya listrik DC yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kerja tiap komponen. Oleh karena itu, keberadaan power supply variabel sangat penting, terutama pada kegiatan laboratorium, penelitian, dan perakitan rangkaian elektronika. Dengan power supply variabel, pengguna dapat mengatur besar tegangan keluaran sesuai kebutuhan, sehingga proses pengujian komponen dan sistem menjadi lebih fleksibel serta aman. Salah satu cara untuk menghasilkan tegangan DC yang dapat diatur adalah dengan menggunakan regulator linear, seperti IC LM317, yang memiliki kemampuan untuk mengatur tegangan keluaran dari 1,25 V hingga 37 V. Regulator linear dipilih karena memiliki keunggulan berupa ripple yang kecil, respon cepat, dan keluaran yang stabil, meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan regulator switching [1].

Dalam proses perancangan sistem elektronika modern, simulasi menjadi tahap penting sebelum implementasi alat fisik dilakukan. Penggunaan MATLAB memungkinkan perancang untuk menganalisis karakteristik rangkaian, seperti kestabilan tegangan, respon terhadap perubahan beban, serta besar ripple tegangan, tanpa harus melakukan eksperimen langsung pada perangkat keras [2][3][4]. Dengan demikian, simulasi membantu meminimalkan kesalahan desain dan meningkatkan efisiensi proses pengembangan alat. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembuatan power supply variabel berbasis regulator linear dengan transistor TIP41C (NPN), serta melakukan simulasi rangkaian menggunakan MATLAB dan Proteus sebagai metode perbandingan antara model teoritis dan implementasi nyata. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dari alat yang direalisasikan untuk mengetahui tingkat kesesuaian performa sistem. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada integrasi dua pendekatan simulasi MATLAB dan Proteus untuk memvalidasi kinerja power supply variabel berbasis regulator TIP41C, yang jarang dikombinasikan dalam penelitian sejenis. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti analisis kuantitatif terhadap tingkat akurasi model simulasi dengan perhitungan error terperinci, sehingga memberikan kontribusi nyata dalam memperkuat validitas model simulasi sebagai alat bantu perancangan. Dengan adanya perbandingan menyeluruh antara hasil simulasi dan pengukuran aktual, diharapkan diperoleh gambaran komprehensif mengenai akurasi model serta kinerja nyata dari sistem power supply variabel berbasis regulator linear ini.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan simulasi, yaitu dengan melakukan perancangan, pembuatan, serta pengujian rangkaian power supply variabel, kemudian membandingkannya dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan pengukuran. Penelitian ini diawali dengan studi literatur terkait power supply yang mencakup tentang desain, simulasi, pengujian dan pengambilan data. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian perancangan system power supply yang digunakan dalam mendesain, simulasi dan merancang power supply. Berikut ini merupakan penjabaran diagram alir sebagai berikut:

2.1 Studi Literatur

Studi literatur berkaitan dengan rangkaian *power supply*. Power supply merupakan salah satu teknologi dasar dalam bidang elektronika dan sistem tenaga yang berfungsi untuk menyediakan sumber energi listrik dengan tegangan dan arus yang stabil sesuai kebutuhan perangkat.

2.1.1. Power Supply

Power supply adalah rangkaian yang mengubah energi listrik dari sumber AC menjadi tegangan DC yang sesuai dan stabil untuk perangkat elektronik. Berdasarkan cara regulasinya, power supply dibagi menjadi dua kelompok utama: regulator linear dan regulator switching. Regulator linear seperti LM317, transistor memiliki keunggulan berupa noise yang rendah dan respon yang cepat, namun efisiensinya rendah karena sebagian daya terbuang dalam bentuk panas. Regulator switching lebih efisien dalam penggunaan daya, tetapi memiliki rangkaian yang lebih kompleks dan cenderung menghasilkan noise lebih tinggi seperti ripple atau gangguan elektromagnetik (EMI) [5].

2.1.2. Transformator Center-Tap (CT)

Transformator step-down dengan center tap (CT) memiliki dua keluaran AC yang simetris terhadap titik tengah lilitan sekundernya. Jenis transformator ini sering digunakan pada konfigurasi penyearah gelombang penuh dengan dua dioda (*single-ended full-wave rectifier*) atau sebagai sumber pada rangkaian penyearah jembatan (*bridge rectifier*) [13][14]. Tegangan DC rata-rata yang dihasilkan setelah proses penyearahan dan penyaringan dapat diperkirakan dari nilai tegangan RMS sekunder ($V_{sec}(rms)$). Pada rangkaian *bridge rectifier*, terdapat penurunan tegangan (*voltage drop*) pada setiap dioda sebesar sekitar 0,7–1,0 V, tergantung pada jenis dioda yang digunakan. Untuk transformator CT, jumlah dan posisi dioda berbeda dibandingkan *bridge rectifier*, namun prinsip dasar penyearahannya tetap sama, yaitu mengubah sinyal AC menjadi tegangan DC yang lebih stabil [6][11].

2.1.3. Penyearah dan Karakteristik Dioda (IN4002)

Penyearah gelombang penuh dapat direalisasikan dengan dua konfigurasi, yaitu menggunakan empat dioda dalam bentuk jembatan (bridge rectifier) atau dua dioda pada transformator center-tap (CT). Dioda seri 1N400x, seperti 1N4002, banyak digunakan pada aplikasi daya rendah hingga menengah. Dioda ini memiliki tegangan jatuh maju (forward voltage drop) sekitar 0,7–1,1 V dan tegangan balik maksimum (reverse voltage rating) antara 100–200 V, tergantung pada tipenya. Karakteristik non-ideal dioda, seperti tegangan maju (Vf), waktu pemulihan (recovery time), dan resistansi seri, dapat memengaruhi ripple dan efisiensi sistem penyearah. Oleh karena itu, parameter-parameter tersebut perlu diperhitungkan dalam model simulasi untuk memperoleh hasil yang lebih akurat [7][16].

2.1.4. Filter Kapasitor: Kapasitas, ESR, dan Ripple

Kapasitor elektrolit besar (mis. 4700 µF) digunakan meratakan tegangan setelah penyearah. Besar ripple kira-kira dapat diperhitungkan dengan pendekatan: di mana f_{ripple} untuk full-wave rectifier jaringan 50 Hz adalah 100 Hz. Namun rumus ideal ini mengabaikan ESR (Equivalent Series Resistance) dan ESL; ESR menambah ripple tegangan dan mempengaruhi pemanasan kapasitor. Oleh karena itu, pada simulasi disarankan memasukkan nilai ESR untuk mendapatkan hasil yang mendekati nyata [8].

2.1.5. Regulator Linear & Transistor Pass (TIP41C)

Regulator linear mempertahankan tegangan keluaran dengan menurunkan (membuang) selisih daya sebagai panas. LM317 adalah contoh regulator terintegrasi adjustable; alternatifnya pada desain diskrit digunakan transistor pass seperti TIP41C (NPN) dikendalikan oleh rangkaian referensi/penyetel [9].

2.1.6. Simulasi dengan Proteus dan Matlab

MATLAB menyediakan untuk memodelkan sumber AC, diode bridge, kapasitor dengan ESR, dan elemen aktif [12]. Persamaan matematis Persentase error simulasi terhadap nilai teoretis Formulasi yang terkait dengan matlab sebagai berikut :

$$\frac{\text{Error sim}}{V_{Th}} = \frac{V_{\text{simulasi}} - V_{\text{Teoritis}}}{V_{Th}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\text{Error Means}}{V_{Th}} = \frac{V_{\text{Means}} - V_{\text{Teoritis}}}{V_{Th}} \dots\dots\dots(2)$$

- Keterangan:
- Vmeans : Tegangan Pengukuran (V)
 - Vsim : Tegangan Simulasi (V)
 - Error Sim : Perhitungan Error simulation (%)
 - VTh : Tegangan Teoritis(V)
 - ErrorMean: Perhitungan Error pengukuran (%)

Simulasi pada proyek Rancang Bangun Power Supply Variabel dilakukan menggunakan software Proteus Design Suite (ISIS). Proteus digunakan untuk memvisualisasikan dan menguji kinerja rangkaian secara virtual sebelum direalisasikan dalam bentuk fisik [10]. Penelitian ini menggunakan Parameter simulasi proteus yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Table 1. Spesifikasi simulasi pada proteus

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Trafomator CT	2 A	Menurunkan tegangan AC
Dioda	in 4002 (2)	Penyearah
Potensiometer	50 K Ω	Pengatur tegangan
Kapasitor elco	4700 mikro farad	output penyearah (rectifier) untuk mengurangi ripple pada tegangan DC hasil penyearahan dari AC.
Transistor	tipe 41c(npn)	Menguatkan sinyal (amplifier)
Resistor	10 Ω	Mengontrol besar arus

Pada table 1 merupakan komponen pada simulasi proteus untuk rangkaian power supply variabel ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling berfungsi untuk menghasilkan tegangan DC yang stabil dan dapat diatur. Transformator CT 2 A berfungsi menurunkan tegangan AC dari sumber listrik 220 V menjadi tegangan AC rendah yang sesuai untuk rangkaian. Tegangan AC tersebut kemudian disearahkan oleh dua dioda IN4002 yang bekerja sebagai penyearah gelombang penuh, mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah berdenyut. Hasil penyearahan kemudian dilembutkan oleh kapasitor elektrolit 4700 μ F yang berfungsi mengurangi ripple, sehingga menghasilkan tegangan DC yang lebih halus.

2.1.7. Langkah Setting Proteus

Langkah setting proteus sebagai berikut :

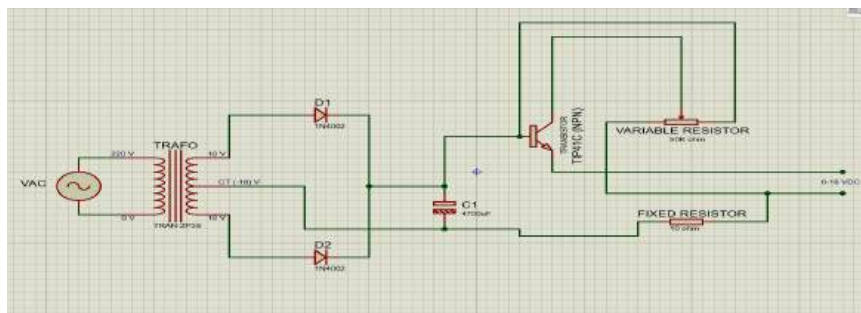
- Membuat skematik trafo AC, diode bridge dan capasitor filter
- Seting trafo di properties set secondary RMS 24 V, frequency 50 Hz. Jika tidak ada trafo ideal, model sumber AC 24 Vrms.
- Pasang part-model: 4002 (dioda daya), electrolytic capacitor 4700 mikro farad (4700 uF), potensiometer untuk adjust manual.

2.2. Pembuatan Desain Rangkaian Power Supply

Rangkaian power supply didesain menggunakan Proteus. Komponen-komponen yang digunakan antara lain transformator, diode bridge, kapasitor, transistor, dan variable resistor. Terdapat desain pada penelitian ini antara lain:

2.2.1. Rangkaian Power Supply Menggunakan TIP41C (NPN)

Rangkaian *power supply* yang ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan rangkaian dasar menggunakan proteus yang ditambahkan TIP41C (NPN) dengan tujuan Menstabilkan tegangan keluaran, agar nilai tegangan tidak berubah meskipun terjadi variasi beban atau fluktuasi pada tegangan masukan.



Gambar 2. Power Supply dengan TIP41C (NPN)

Gambar 2 merupakan desain rangkaian power supply menggunakan proteus untuk menstabilkan tegangan keluaran

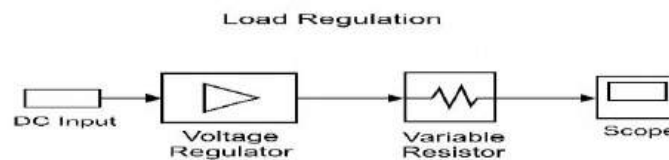
2.3. Simulasi dan Pengujian

Simulasi rangkaian power supply dilakukan menggunakan aplikasi Proteus 8.1 Professional dan matlab. Proteus 8.1 Professional digunakan untuk mendesain rangkaian elektronika dan matlab digunakan untuk menampilkan hasil output keluaran pada power supply.



Gambar 3. Pengujian Pengukuran Power Supply

Pada gambar 3 Pengujian dilakukan menggunakan multimeter dengan memutar potensiometer yang berfungsi sebagai tuas pemutar nilai variabel resistor]. Pengujian berupa *running* pada simulasi dilakukan beberapa kali berdasarkan skala potensio yang diberikan. Skala potensio maksimal 100% dan pengujian alat dengan memutar tuas potensiometer [15].



Gambar 4. Blok Diagram Simulink

Pada gambar 4 merupakan diagram blok matlab/Simulink yang digunakan pada simulasi power supply menganalisis perilaku dinamis dari sistem power supply variabel secara visual dan interaktif

2.4. Pengambilan Data dan Analisis

Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan proses pengukuran menggunakan multimeter pada uji power supply serta melalui simulasi menggunakan MATLAB. Data yang diperoleh meliputi tegangan output hasil simulasi, tegangan output hasil pengukuran, dan nilai teoritis dari sistem power supply. Untuk memperoleh hasil yang akurat, eksperimen dilakukan secara berulang hingga diperoleh data yang stabil dan konsisten.



Gambar 5. Proses Pengukuran Power Supply

Pada gambar 5 proses pengukuran power supply Berdasarkan data yang terkumpul, dilakukan analisis guna menentukan performa terbaik dari desain rangkaian power supply dengan mempertimbangkan pengaruh penambahan IC pada rangkaian tersebut. Penggunaan komponen TIP41C (NPN) dalam proses perancangan power supply berperan penting dalam meningkatkan efisiensi serta kestabilan tegangan output, sehingga sistem mampu bekerja secara optimal dan andal sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Load Regulation atau regulasi beban merupakan kemampuan sebuah power supply variabel untuk mempertahankan tegangan output yang stabil meskipun arus beban berubah-ubah. Dari tabel hasil simulasi dan pengukuran yang diberikan, terlihat bahwa perubahan nilai tegangan output hasil simulasi MATLAB dan hasil pengukuran terhadap nilai teoretis relatif kecil, yaitu dengan error simulasi rata-rata di bawah 1% dan error pengukuran maksimum sekitar 3.83%.

Table 2. Deviasi tegangan untuk regulasi beban

Rentang Input	Deviasi Tegangan	Keterangan
5–15 V	Error $\leq 0.8\%$ (simulasi) dan $\leq 2\%$ (pengukuran)	Tegangan stabil, beban ringan–sedang
18–24 V	Error 0.6–0.9% (simulasi) dan 0–3.8% (pengukuran)	Terjadi sedikit penurunan akibat beban meningkat

Tabel 2 menunjukkan bahwa rangkaian power supply memiliki regulasi beban yang baik, karena tegangan output hanya mengalami penurunan kecil ketika arus beban bertambah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap rangkaian power supply variabel yang telah dirancang, serta dilakukan simulasi menggunakan MATLAB/Simulink dan didesain menggunakan proteus untuk membandingkan hasil teoritis, hasil simulasi, dan hasil pengukuran aktual. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan input dari 5 V hingga 24 V menggunakan potensiometer pengatur tegangan.

3.1. Hasil Teoritis, simulasi dan Pengukuran

Berikut ini table 3 hasil simulasi dan pengukuran Power supply sebagai berikut :

Tabel 3. Rangkaian Power Supply Pengukuran dan Simulasi

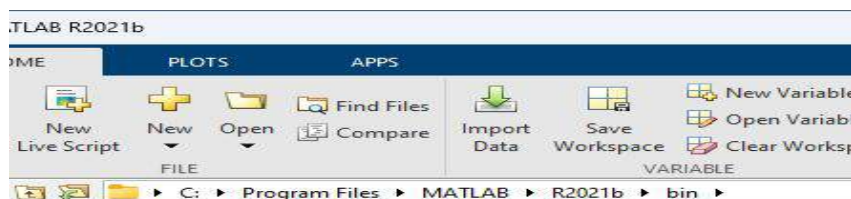
No	Varibel Input	Tegangan Output Teoritis (V)	Tegangan Output Hasil Simulasi (MATLAB) (V)	Tegangan Output Hasil Pengukuran (V)	Error Simulasi (%)	Error Pengukuran (%)
1	5 V	5.00	4.98	5.1	0.40	2.0
2	7 V	7.00	6.96	7.14	0.57	2.0
3	9 V	9.00	8.94	9.08	0.67	0.89
4	12 V	12.00	11.93	12.017	0.58	0.14
5	15 V	15.00	14.88	15.1	0.80	0.67
6	18 V	18.00	17.86	18	0.78	0.00

7	20 V	20.00	19.82	20.1	0.90	0.50
8	24 V	24.00	23.85	23.08	0.62	3.83

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan MATLAB, diperoleh nilai error simulasi yang relatif kecil, berkisar antara 0.40% hingga 0.90% dengan rata-rata sebesar 0.67%. Nilai ini menunjukkan bahwa model simulasi sudah cukup akurat dalam merepresentasikan perilaku rangkaian sebenarnya. Pendekatan matematis sederhana dalam model yang belum sepenuhnya mencakup rugi daya akibat resistansi internal dan faktor suhu. Hasil pengukuran nyata menunjukkan error antara 0.00% hingga 3.83% dengan rata-rata 1.25%. Nilai error tertinggi terjadi pada input 24 V, sedangkan nilai terendah (0%) pada input 18 V. Penyebab utama adanya perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai teoritis Toleransi komponen elektronik, terutama pada resistor, dioda, dan potensiometer.

Linearitas menunjukkan kesesuaian antara tegangan input dan tegangan output sesuai dengan nilai teoritis. Pada sistem power supply yang baik, kenaikan tegangan input harus menghasilkan kenaikan output yang proporsional dan terukur. Dari data tabel, nilai error simulasi berada pada kisaran 0.40%–0.90%, menunjukkan bahwa karakteristik tegangan output hasil simulasi MATLAB bersifat linear terhadap nilai teoretis. Begitu pula hasil pengukuran dengan error rata-rata sekitar 1.25%, masih tergolong sangat linear terhadap perubahan input dari 5 V hingga 24 V.

Berdasarkan simulasi MATLAB, nilai tegangan output hasil penyearahan dan penyaringan menunjukkan perbedaan kecil dari nilai teoretis (rata-rata error simulasi < 1%). Hal ini menunjukkan bahwa kapasitor elektrolit 4700 µF mampu mengurangi fluktuasi tegangan secara signifikan. Jika diasumsikan sistem bekerja pada frekuensi 50 Hz dan menggunakan penyearah gelombang penuh (f efektif = 100 Hz), maka peningkatan nilai kapasitor akan menurunkan ripple secara signifikan dan Analisis Respon Transien Kenaikan tegangan output secara bertahap (ramp) dari nol ke nilai *steady-state*.

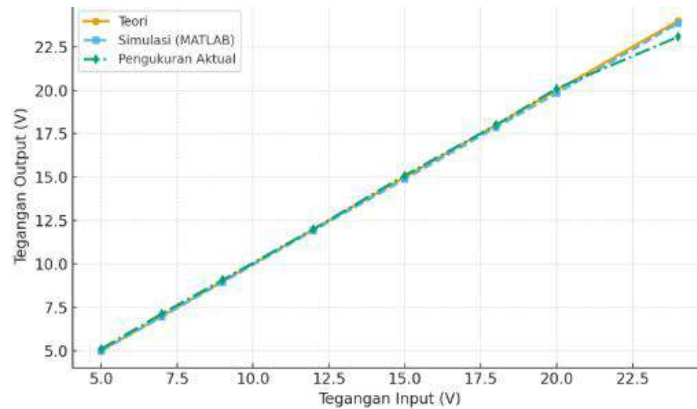


The screenshot shows the MATLAB R2021b interface with a table titled "HASIL ANALISIS TEGANGAN OUTPUT DAN ERROR SIMULASI". The table has four columns: Input_V, V_Teoritis, V_Simulasi, and Error_Persen. The data rows correspond to the table above.

Input_V	V_Teoritis	V_Simulasi	Error_Persen
5	5	4.98	0.4
7	7	6.96	0.57143
9	9	8.94	0.66667
12	12	11.93	0.58333
15	15	14.88	0.8
18	18	17.86	0.77778
20	20	19.82	0.9
24	24	23.85	0.625

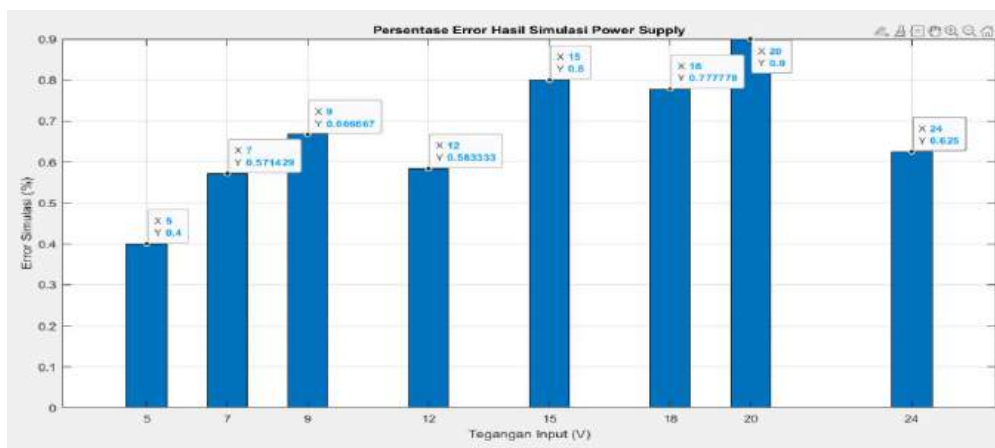
Gambar 6. Tampilan hasil matlab

Berdasarkan hasil simulasi MATLAB pada gambar 6 di atas, dapat dijelaskan bahwa nilai tegangan output hasil simulasi sangat mendekati tegangan output teoritis untuk setiap variasi tegangan input yang diberikan, yaitu mulai dari 5 V hingga 24 V. Nilai penyimpangan atau error simulasi yang diperoleh berada pada rentang 0,40% hingga 0,90%, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil teoritis dan hasil simulasi sangat kecil.



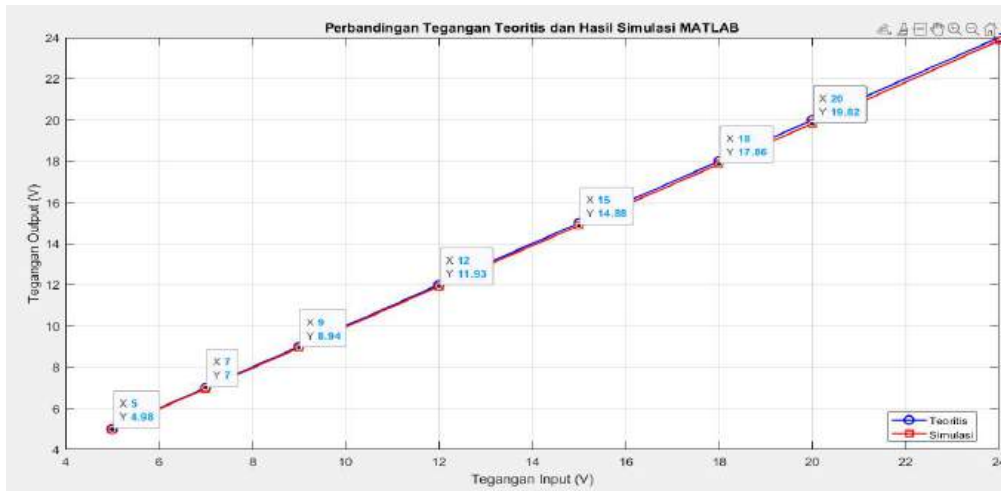
Gambar 7. Grafik perbandingan antara tegangan output teoritis, hasil simulasi MATLAB, dan hasil pengukuran aktual.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan antara tegangan output teoritis, hasil simulasi MATLAB, dan hasil pengukuran aktual. Terlihat bahwa hasil simulasi sangat mendekati nilai teoritis, sedangkan hasil pengukuran memiliki sedikit deviasi pada beberapa titik, terutama pada input 24 V.



Gambar 8. hasil simulasi Error dan Efisiensi Power Supply pada matlab

Dari data pada gambar 8 terlihat bahwa selisih antara hasil teoritis dan hasil simulasi sangat kecil, dengan tingkat kesalahan (error) berkisar antara 0,40% hingga 0,90%. Nilai error yang rendah ini menunjukkan bahwa model simulasi MATLAB memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan mampu merepresentasikan sistem yang diuji dengan valid. Perbedaan kecil yang muncul antara hasil teoritis dan hasil simulasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti pembulatan angka pada perhitungan, keterbatasan model simulasi dalam merepresentasikan kondisi nyata secara sempurna, serta asumsi ideal yang digunakan dalam perhitungan teoritis. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa simulasi yang dilakukan telah berhasil menggambarkan perilaku sistem dengan sangat baik dan dapat dijadikan acuan dalam analisis lebih lanjut. Grafik ini menunjukkan hubungan antara tegangan input (V) dan tegangan output (V) baik secara teoretis, hasil simulasi MATLAB, maupun hasil pengukuran langsung. Sumbu X merepresentasikan tegangan input (5–24 V), sedangkan sumbu Y menunjukkan tegangan output yang dihasilkan dari sistem power supply. Terlihat bahwa nilai output hasil simulasi dan pengukuran memiliki pola linear terhadap input, dengan perbedaan kecil (<1 V) dari nilai teoritis. Penyimpangan kecil ini menggambarkan error simulasi dan pengukuran yang muncul akibat pengaruh beban dan komponen regulator.



Gambar 9. karakteristik power supply variable

Hasil gambar 9 analisis menunjukkan bahwa rata-rata selisih antara tegangan simulasi dan teoritis sebesar $-0,0975$ V dengan rata-rata kesalahan sekitar $-0,67\%$ dan kesalahan maksimum mencapai $0,90\%$. Hubungan antara nilai teoritis dan hasil simulasi memiliki linearitas yang sangat baik dengan nilai $R^2 \approx 0,99999$, menunjukkan bahwa sistem mengikuti karakteristik ideal dengan deviasi yang sangat kecil. Tegangan hasil simulasi secara konsisten sedikit lebih rendah dibanding teori, yang mengindikasikan adanya penurunan tegangan (loss) akibat faktor-faktor seperti drop pada dioda penyearah, resistansi seri, dropout regulator, serta karakteristik model komponen dalam simulasi. Secara keseluruhan, hasil simulasi dapat dianggap akurat dan representatif terhadap kondisi teoritis, dengan error yang masih berada dalam batas wajar untuk aplikasi laboratorium maupun pembelajaran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan antara tegangan output teoritis, hasil simulasi MATLAB, dan hasil pengukuran aktual, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan nilai error relatif kecil, yaitu berkisar antara $0,40\%$ hingga $0,90\%$ dengan rata-rata sebesar $0,67\%$. Hal ini membuktikan bahwa model simulasi yang digunakan telah mampu merepresentasikan karakteristik rangkaian power supply variabel dengan sangat baik. Simulasi MATLAB memberikan gambaran perilaku sistem yang mendekati kondisi nyata, sehingga dapat dijadikan acuan dalam proses analisis dan perancangan rangkaian. Sementara itu, hasil pengukuran nyata menunjukkan nilai error yang sedikit lebih besar dibandingkan hasil simulasi, yaitu antara $0,00\%$ hingga $3,83\%$ dengan rata-rata sebesar $1,25\%$. Nilai error tertinggi terjadi pada saat input 24 V, sedangkan nilai terendah (0%) diperoleh pada input 18 V. Perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai teoritis ini disebabkan oleh beberapa faktor teknis, di antaranya toleransi nilai komponen elektronik seperti resistor, dioda, dan potensiometer, serta rugi daya internal yang terjadi pada transistor regulator TIP41C (NPN). Selain itu, faktor eksternal seperti penurunan tegangan pada sambungan kabel dan jalur PCB, variasi suhu lingkungan, serta keterbatasan ketelitian alat ukur selama proses pengujian juga berpengaruh terhadap besarnya error yang terjadi. Secara keseluruhan, baik hasil simulasi maupun hasil pengukuran menunjukkan bahwa rangkaian power supply variabel berbasis transistor TIP41C (NPN) bekerja dengan baik, stabil, dan mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan rancangan yang diharapkan. Dengan demikian, rancangan yang dikembangkan dapat dikatakan berhasil memenuhi kriteria performa yang diinginkan, serta layak digunakan sebagai media pembelajaran atau prototipe sistem catu daya variabel yang efisien dan andal.

5. SARAN PENELITIAN LANJUT

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar sistem power supply variabel ini dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur pengendalian digital berbasis mikrokontroler atau sistem IoT agar pengaturan tegangan dan arus dapat dilakukan secara otomatis dan lebih presisi. Selain itu, dapat dilakukan analisis termal terhadap transistor regulator TIP41C untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kestabilan tegangan keluaran. Penggunaan komponen dengan toleransi lebih kecil serta implementasi sistem proteksi arus lebih dan suhu berlebih juga dapat meningkatkan keandalan sistem. Sebagai tambahan, validasi simulasi dapat diperluas menggunakan software lain seperti Multisim atau LTSpice untuk memperoleh hasil perbandingan yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem.

6. DAFTAR NOTASI

Penulisan Notasi dapat diuraikan dengan keterangan sebagai berikut :

D1 : Dioda 1

C1 : Kapasitor 1

Ω : Ohm

V : Volt

A : Ampere

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jian, G., Jie, Z., & Li, Z. (2012). Design of a DC Linear Power Supply with Adjustable Voltage. *IERI Procedia*, 3, 73-80.
- [2] Hasan, M. H., Mahlia, T. I., & Nur, H. (2012). A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(4), 2316-2328. R. A. Widitya, F. S. P. Yuwono, and M. Z. Saleh, "Strategi Pemasaran Mobil Konvensional dan Mobil Listrik Di Pasar Indonesia," *Trending J. Ekon. Akunt. dan Manaj.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–54, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.30640/trending.v2i1.1910>.
- [3] Hidayat, M. N., Rahmat, A. N., & Ronilaya, F. (2020). Feasibility analysis of a renewable autonomous power supply system at a coastal area in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 175-181.
- [4] Tehranipoor, M., & Butler, K. M. (2010). Power supply noise: A survey on effects and research. *IEEE Design & Test of Computers*, 27(2), 51-67.
- [5] Martin-Ramos, J. A., Pernía, A. M., Díaz, J., Nuño, F., & Martínez, J. A. (2008). Power supply for a high-voltage application. *IEEE Transactions on power electronics*, 23(4), 1608-1619.
- [6] Prabowo, H. F. A., Facta, M., & Nugroho, A. (2015). Analisis Resonant Trafo Step Up dengan Penyearah CT dan Jembatan Penuh. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 4(3), 542-549.
- [7] Syam, S., & Kurniati, S. (2020). *Analisis Dan Desain Penyearah DC Dengan Simulasi PSPICE*. Deepublish.
- [8] Santoso, A. (2025). PENGARUH KOMPONEN PARASITIK ESR TERHADAP AMPLITUDO ARUS CHARGING DAN DISIPASI THERMAL KAPASITOR ELEKTROLIT. *E-Link: Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, 20(1), 53-59.
- [9] Mbongo, M. (2015). *Low-cost thermoluminescence measurement using photodiode sensing* (Doctoral dissertation, University of the Free State)
- [10] Saputra, R., Hakim, B. W., & Arifin, A. R. (2025). Analisis dan Perancangan Rangkaian Power Supply Dengan Modifikasi Penyearah Dioda IN4001 Untuk Mengatur Output Tegangan dan Arus Berdasarkan Variasi Beban. *Journal Electric*

- Field*, 2(1), 48-56.
- [11] Pratama, A. Y., Asry, D. W., Usman, D., Asmoro, P. T., & Siswoyo, F. (2024). The Power Factor Optimization with Cos Phi Mode Trainee. *Jurnal Improsci*, 2(2), 95-109.
- [12] Apriandi, D., & Setyansah, R. K. (2017). Penerapan Media Simulasi Matlab Berbasis Interactive Conceptual untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mahasiswa. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 6(2), 189-197.
- [13] Pratama, A. Y., Setiawan, I., Hendrawan, D., & Rizky, W. Y. (2025). Sistem Monitoring Energi Listrik Menggunakan Sensor Hlw8012 Dan Mikrokontroler. *Journal Scientific of Mandalika (JSM) e-ISSN 2745-5955| p-ISSN 2809-0543*, 6(3), 552-557.
- [14] Feriyanti, R. V., Pratama, A. Y., & Novianto, D. (2022). Analisis Sistem Monitoring Suhu dengan Sensor LM35 Menggunakan OHP (Over Head Projector) Berbasis Raspberry Pi. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 6(2), 43-47.
- [15] Asmoro, P. T., Ningtias, D. W. A., Pratama, A. Y., & nur Fatoni, A. (2025). Pengaruh Integrated Circuit Pada Rangkaian Fastcharging Baterai Mobil Listrik. *Ramatekno*, 5(1), 50-59.
- [16] Saputra, R., Hakim, B. W., & Arifin, A. R. (2025). Analisis dan Perancangan Rangkaian Power Supply Dengan Modifikasi Penyearah Dioda IN4001 Untuk Mengatur Output Tegangan dan Arus Berdasarkan Variasi Beban. *Journal Electric Field*, 2(1), 48-56.